

CRECIMIENTO DE POSTLARVAS Y JUVENILES DE ABULON AZUL (*Haliotis fulgens*) EN UN LABORATORIO MEXICANO

POSTLARVAL AND JUVENILE GROWTH OF GREEN ABALONE (*Haliotis fulgens*) IN A MEXICAN LABORATORY

Ricardo Searcy Bernal
Alfredo E. Salas Garza
Roberto A. Flores Aguilar

Instituto de Investigaciones Oceanológicas
Universidad Autónoma de Baja California
Apartado Postal 453
Ensenada, Baja California, México

Searcy Bernal Ricardo, Salas Garza, A.E. y Flores Aguilar, R.A. Crecimiento de postlarvas y juveniles de abulón azul (*Haliotis fulgens*) en un laboratorio mexicano. Postlarval and Juvenile Growth of Green Abalone (*Haliotis fulgens*) in a Mexican Laboratory. Ciencias Marinas 14(4):57-72, 1988.

RESUMEN

Se trasladaron larvas veliger de *Haliotis fulgens* producidas en Bahía Tortugas, Baja California Sur, a este Instituto en Ensenada, Baja California, donde se cultivaron de octubre de 1986 a marzo de 1987.

El asentamiento y la metamorfosis ocurrieron de seis a ocho días después de la fertilización y el primer poro respiratorio se observó a partir de los 41 días a una longitud promedio de 1.8mm.

La tasa promedio de crecimiento fue de $87\mu\text{m}/\text{día}$ ($2.6\text{mm}/\text{mes}$) durante el período de cinco meses. Los valores menores correspondieron al estadio postlarval ($50\mu\text{m}/\text{día}$) y la mayor tasa ocurrió después de la formación del primer poro respiratorio ($129\mu\text{m}/\text{día}$). El crecimiento de los juveniles disminuyó a $81\mu\text{m}/\text{día}$ durante la transición de dietas de diatomeas a macroalgas.

Las tasas de crecimiento registradas son hasta un 102% mayores que algunas observadas en otros estudios con esta especie en California, EE.UU., bajo condiciones de temperatura similares ($14\text{-}21^\circ\text{C}$). Esta situación se podría deber a la variabilidad natural del crecimiento, condiciones experimentales utilizadas o diferencias entre razas de esta especie.

ABSTRACT

Veliger larvae of *Haliotis fulgens* produced in Bahía Tortugas, Baja California Sur, were shipped to the Instituto de Investigaciones Oceanológicas in Ensenada, Baja California, where they were cultured from October 1986 to March 1987.

Settlement and metamorphosis were reached in six to eight days after fertilization, and the first respiratory pore was observed since day 41, at a mean length of 1.8mm.

The average growth rate was $87\mu\text{m}/\text{day}$ ($2.6\text{mm}/\text{month}$) during the five month period. The lowest values corresponded to the postlarval stage ($50\mu\text{m}/\text{day}$) and the highest rate was registered after the formation of the first respiratory pore ($129\mu\text{m}/\text{day}$). Juvenile growth decreased to $81\mu\text{m}/\text{day}$ during the transition from diatom to macroalgae diets.

Growth rates reported here are as much as 102% higher than some observed in other studies with this species in California, USA, under similar temperature conditions (14-21°C). This situation could be due to the natural variability in growth rates, experimental conditions or differences between races of this species.

INTRODUCCION

El abulón azul *Haliotis fulgens* se distribuye desde Point Conception, California, EE.UU., hasta Bahía Magdalena, Baja California Sur, México, y es capturado comercialmente en ambos países (Cox, 1962). En México es más importante ya que representa entre un 25 y un 40% de la producción abulonera (Rocha, 1985), contra menos de un 10% en Estados Unidos (Hooker y Morse, 1985).

La drástica disminución de la producción de abulones durante las últimas dos décadas, ha motivado que se impulse su acuicultura. En Estados Unidos esta actividad se ha concentrado sobre el abulón rojo (*H. rufescens*) y en segundo término sobre *H. fulgens* (Ebert y Houk, 1984; Hooker y Morse, 1985); mientras que en México los principales esfuerzos se han dedicado a esta última especie, la cual tolera temperaturas más altas (Leighton, 1974).

A partir de 1983, iniciaron sus operaciones dos laboratorios mexicanos para producción de semilla de abulón (en principio de *H. fulgens*), bajo la conducción de los sectores oficial (Secretaría de Pesca) y social (Federación Regional de Cooperativas Pesqueras). Estos centros acuiculturales se localizan en Eréndira, B.C., y Bahía Tortugas, B.C.S., y funcionan aún a escala experimental.

En 1984 se inició un programa de investigación en el Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO), destinado a complementar los esfuerzos anteriores mediante el desarrollo de estudios sobre la tecnología de siembra y engorda de semilla de abulón; es decir, poniendo énfasis en la etapa posterior a la producción en laboratorio. Debido a que no fue posible utilizar semilla de laboratorios nacionales (por los bajos niveles de producción que prevalecían), estas investigaciones se iniciaron con semilla comprada o donada por laboratorios estadounidenses (Searcy y Salas, 1985).

INTRODUCTION

Green abalone (*Haliotis fulgens*) is distributed from Point Conception, California, USA, to Bahía Magdalena, Baja California Sur, Mexico, and it is commercially caught in both countries (Cox, 1962). It is more important in Mexico because it represents between 25 and 40% of the abalone production (Rocha, 1985), while in the United States it is less than 10% (Hooker and Morse, 1985).

The drastic decrease of the abalone production during the last two decades has motivated its aquaculture. In the United States this activity has been concentrated on the red abalone (*H. rufescens*) and in second place on *H. fulgens* (Ebert and Houk, 1984; Hooker and Morse, 1985); while in Mexico, the main efforts have been dedicated to this last species, which tolerates higher temperatures (Leighton, 1974).

Since 1983, two laboratories started their operations of abalone seed production (*H. fulgens* at the beginning) under the management of the official (Secretaría de Pesca) and social (Federación Regional de Cooperativas Pesqueras) sectors. These aquacultural centers are located in Eréndira, B.C. and Bahía Tortugas, B.C.S. These are still working on an experimental level.

In 1984 a research program was started in the Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO), in order to complement the previous efforts through the development of studies on the technology of sowing and fattening the abalone seed; this means, emphasizing the latter stage of the production in the laboratory. As it was not possible to obtain seeds from national laboratories (because of the low production levels that prevailed), this research initiated studies with seeds bought or donated from United States laboratories (Searcy and Salas, 1985).

At present, diverse aspects of the abalone seed production in laboratory are

En la etapa actual del programa mencionado, se realizan estudios sobre distintos aspectos de la producción de semilla de abulón en laboratorio, con el propósito de colaborar con los sectores oficial y cooperativo en el desarrollo de esta tecnología; así como de producir cantidades suficientes de semilla para continuar con experimentos sobre siembra y engorda.

Este trabajo se refiere a la primera experiencia realizada en el IIO sobre cultivo de postlarvas y juveniles de abulón azul, a partir de larvas producidas en el laboratorio de Bahía Tortugas y donadas para este estudio.

Uno de los motivos principales por los que se publica esta contribución, fue el elevado crecimiento observado en comparación con datos obtenidos para esta especie en California (Leighton, 1974; Leighton *et al.*, 1981) y sobre este punto se centra la discusión.

MATERIALES Y METODOS

Las larvas fueron obtenidas a partir de reproductores maduros colectados del medio natural e inducidos a desovar en el laboratorio de Bahía Tortugas. A los tres días de cultivo, las larvas veliger se transportaron por vía aérea a Ensenada, B.C., en recipientes de plástico con agua de mar, a una densidad de 25 larvas/ml aproximadamente. El tiempo transcurrido entre la preparación de las larvas para su traslado y la introducción de las mismas en recipientes con densidad de 3 a 5 larvas/ml en Ensenada fue de cuatro horas.

Al día siguiente de su recepción en el IIO (cuarto día post-fertilización), las larvas fueron consideradas competentes para el asentamiento y metamorfosis, ya que podían sostenerse sobre su pie desplazándose con ayuda de los cilios (Ebert y Houk, 1984).

Se colocaron alrededor de 25,000 larvas para su fijación en un tanque de fibra de vidrio de 620 lt con 24 colectores de lámina acanalada de fibra de vidrio de 30 x 30cm. Algunos colectores se suspendieron en forma vertical de travesaños sobre el tanque y otros

studied, aiming to collaborate with the official and cooperative sectors on the development of this technology, as well as producing enough quantity of seeds to continue with experiments on sowing and fattening.

This study refers to the first experience carried out in the IIO regarding the postlarvae and juveniles of green abalone cultivation, with larvae produced in the Bahía Tortugas laboratory and donated to this study.

One of the main reasons for the publication of this contribution was the increasing growth observed in our culture in comparison with the data obtained for this species in California (Leighton, 1974; Leighton *et al.*, 1981), and the discussion is focused on this matter.

MATERIALS AND METHODS

The larvae were obtained from mature breeders collected from the natural environment and induced to spawn in the Bahía Tortugas laboratory. After three days of the cultivation, the Veliger larvae were shipped by air to Ensenada, B.C., in plastic containers with seawater, at a density of approximately 25 larvae/ml. It took four hours between the larvae preparation for shipment and their introduction into containers in Ensenada with a density of 3 to 5 larvae/ml.

Next day after they were received in the IIO (fourth day post-fertilization), the larvae were considered ready for their settling and metamorphosis, because they could stand on their own, moving with the help of their cilia (Ebert and Houk, 1984).

About 25,000 larvae were placed for their fixing in a 620 lt glass-fibre tank with 24 glass-fibre grooved sheet collectors of 30 x 30cm. Some collectors were suspended in vertical shelves over the tank and some others were placed horizontally at the bottom. After two days, the bottom sheets were also sus-

se colocaron horizontalmente en el fondo. Después de dos días, las placas de fondo también fueron suspendidas en posición vertical. La superficie total proporcionada para el asentamiento fue aproximadamente de $82 \times 10^3 \text{cm}^2$ (0.3larvas/cm^2).

El agua de mar utilizada fue filtrada a $5\mu\text{m}$ e irradiada con luz ultravioleta (UV) permaneciendo estática por dos días. Del tercero al décimo día se hicieron cambios diarios de unas 3/4 partes del agua y posteriormente se abrió la circulación por tres horas diarias utilizando agua tratada con UV. A partir de un mes de iniciado el experimento, se mantuvo fluido abierto durante 24 horas/día con agua filtrada a $5\mu\text{m}$ con un gasto aproximado de 8 lt/min. Se proveyó aereación a partir del quinto día de la colocación de las larvas en el tanque.

El alimento de las postlarvas consistió en *Tetraselmis suecica* durante los primeros diez días del cultivo en el tanque y posteriormente de microalgas bentónicas que eran captadas en un sistema de cultivo anexo, consistente en recipientes de plástico de 20 lt que recibían agua filtrada a $5\mu\text{m}$ con flujo lento (menos de 1 lt/min). La asociación de microalgas estaba constituida por diatomeas pequeñas, aparentemente del género *Cocconeis*, de unas $13 \times 5\mu\text{m}$. Este alimento era agregado con la periodicidad necesaria para mantener una capa fina de diatomeas sobre el tanque y los colectores (generalmente cada tres a siete días). Después de agregar el inóculo, se suspendía el flujo de agua de 12 a 18 horas para permitir la fijación de las diatomeas.

A partir de los 76 días del cultivo, cuando los juveniles tenían un promedio de longitud de 6.6mm, se realizó el cambio de dieta, adicionando hojas de *Macrocystis pyrifera* que eran mantenidas en el fondo del estanque mediante fragmentos de tubo de plástico (ABS), los cuales además proveían refugios artificiales para los juveniles. Al agregar la macroalga, se redujeron las inoculaciones de diatomeas hasta suspenderse totalmente a los 15 días, después de observar señales persistentes de pastoreo sobre las hojas; sin embargo, se mantuvo un aporte natural re-

pendido en a vertical position. The total surface provided for the settling was of approximately $82 \times 10^3 \text{cm}^2$ (0.3larvae/cm^2).

The seawater was filtered at $5\mu\text{m}$ and radiated with ultraviolet light (UV), staying static for two days. From the third to the tenth day, daily changes of approximately 3/4 of the water were made, and subsequently, the circulation was open for three hours daily using water treated with UV. After one month of the experiment, it was left flowing during 24 h/day with water filtered at $5\mu\text{m}$ with a volume of flow of approximately 8 lt/min. Ventilation was provided from the fifth day onwards of the larvae settling in the tank.

The postlarvae food consisted of *Tetraselmis suecica* during the first ten days of the culture in the tank and afterwards of bentonic microalgae, which were held in an annexed culture system, consisting of 20 lt plastic containers which received filtered water at $5\mu\text{m}$ with a slow flow (less than 1 lt/min). The association of microalgae consisted of small diatoms, apparently of the *Cocconeis* genus, of about $13 \times 5\mu\text{m}$. This food was supplied with the necessary periodicity to maintain a thin film of diatoms above the tank and the collectors (generally from three to seven days). After adding the inocule, the water was cut off from 12 to 18 hours to allow the fixing of the diatoms.

After 76 days of the culture, when the juveniles averaged 6.6mm in length, a change of diet was made, adding *Macrocystis pyrifera* leaves, which were placed at the bottom of the tank using plastic pipe (ABS) fragments, which also supplied artificial refuges for the juveniles. When adding the macroalga, the diatom inoculations decreased until their complete disappearance after 15 days, after persistent signs of grazing were observed on the leaves; however, a reduced natural supply of diatoms remained through the flow of water. The *H. fulgens* juveniles still found in the collectors were removed to be placed at the bottom of the tank, since it was observed that their growth was less probable because of the lack of food.

ducido de diatomeas a través del flujo de agua. Los juveniles de *H. fulgens* que aún se encontraban en los colectores, se removieron para ser depositados en el fondo del tanque, ya que se observó que su crecimiento era menor posiblemente por la falta de alimento.

Cada semana se drenaba el tanque para remover heces, grumos de diatomeas y otras impurezas, con agua de mar a presión. Las conchas de abalones muertos eran colectadas en un tamiz de 100 μ m para estimar la mortalidad.

El cultivo se mantuvo en el tanque durante cinco meses, período durante el cual se realizaron mediciones semanales o quincenales de los organismos. Hasta antes del cambio de dieta (2.5 meses), las mediciones se hicieron sobre tres placas seleccionadas aleatoriamente en un total de 7 a 15 abalones (de dos a siete por placa). Este proceso se efectuó al microscopio, con las placas inmersas en charolas con agua de mar, para minimizar el estrés asociado. Posteriormente las mediciones se realizaron directamente sobre el fondo del tanque, en un número similar de organismos, con un Vernier con precisión de 0.05mm. La temperatura se midió diariamente con un termómetro convencional.

Paralelamente al experimento en el tanque, se colocaron larvas en tres recipientes de plástico de 15 lt, con densidad y regímenes en cambio de agua y alimentación similares. Sin embargo, esta parte del diseño fue suspendida al mes de iniciada, debido a la sobrevivencia prácticamente nula durante ese período y los resultados parciales obtenidos no se incluyen en esta publicación.

RESULTADOS

La operación de transporte de larvas de Bahía Tortugas a Ensenada fue satisfactoria, observándose un 100% de sobrevivencia a la llegada del envío al laboratorio del IIO.

El asentamiento de las larvas ocurrió entre 24 y 48 horas después de su introducción en el tanque de fijación (5-6 días post-fertilización). Para el octavo día después de la fertilización, la metamorfosis había ocurrido

Each week the tank was drained with seawater at pressure to remove faeces, lumps of diatoms and other impurities. The shells of the dead abalones were collected in a 100 μ m mesh for the mortality estimation.

The culture stayed in the tank for five months; during this period, measurements of the organisms were taken weekly or fortnightly. Previous to the change of diet (2.5 months), the measurements were taken over three sheets chosen at random of a total of 7 to 15 abalones (from two to seven per sheet). This process was carried out using a microscope with sheets immersed in trays with seawater to minimize the associated stress. Subsequently, the measurements were taken directly at the bottom of the tank, in a similar number of organisms, with a Vernier of ± 0.05 mm precision. The temperature was measured daily with a conventional thermometer.

At the same time of the experiment in the tank, larvae were placed in three 15 lt plastic containers with similar density and change of water and food regimes. However, this part of the design was interrupted after one month of its initiation due to the almost null survival of the larvae during that period, and the partial results obtained are not included in this publication.

RESULTS

The transportation of larvae from Bahía Tortugas to Ensenada was satisfactory, observing a 100% survival at the arrival of the shipment to the IIO laboratory.

The settlement of the larvae was between 24 and 48 hours after their introduction in the fixing tank (5-6 days post-fertilization). After the eighth day of their fertilization, all the observed larvae reached the metamorphosis and some of them started to form the peristomal shell. The first respiratory pore was observed in most of the abalones after 41 days, when their length averaged 1.8mm.

The difference in length of the abalones among the three selected sheets was not significant in most of the measurements

en todas las larvas observadas y algunas empezaban a formar la concha peristomial. El primer poro respiratorio se observó en la mayoría de los abulones a partir de los 41 días de edad, cuando su longitud promediaba 1.8mm.

Las diferencias de la longitud de los abulones entre las tres placas seleccionadas, no resultaron significativas en la generalidad de las mediciones (prueba de Kruskal-Wallis $P > 0.05$) con la excepción del primer muestreo en que los organismos de una placa fueron ligeramente más pequeñas ($P = 0.04$). Después de este análisis, se tomó la decisión de agrupar todos los datos de las distintas placas correspondientes a una misma medición, para hacer estimaciones del crecimiento con más grados de libertad.

El crecimiento de las postlarvas y juveniles durante el período de estudio, se presenta gráficamente en la Figura 1, donde se observan cuatro fases alternadas de crecimiento lento y rápido, cuyos promedios diarios se muestran en la Tabla I. El valor mínimo ($50.0\mu\text{m día}$) correspondió al estado postlarval y el máximo ($129.1\mu\text{m día}$) sucedió después de la aparición del primer poro respiratorio. En las Tablas II y III, se comparan datos de este trabajo con resultados que provienen de experimentos con esta especie en California (Leighton, 1974; Leighton *et al.*, 1981), a partir de longitudes y bajo condiciones de temperatura similares. Es evidente el mayor crecimiento registrado en este estudio, que alcanza hasta un 102% en relación a los datos obtenidos en California (Tabla II).

La temperatura a lo largo del período de estudio fluctuó entre 14 y 21°C.

La sobrevivencia estimada a los 10 días de la introducción de las larvas al tanque fue de un 0.8%; mientras que a los 41 días (cuando se formaba el primer poro), se estimó en 0.5% aproximadamente. Posteriormente la mortalidad fue prácticamente nula.

(Kruskal-Wallis test $P < 0.05$), except for the first sampling in which the organisms of one sheet were slightly smaller ($P = 0.04$). After this analysis, it was decided to group all the data of the different sheets corresponding to one same measurement for their growth estimation with a greater degree of freedom.

The growth of the postlarvae and juveniles during the study period is shown in Figure 1, in which four alternated phases of slow and rapid growth are observed. The daily average rates are shown in Table I. The minimum value ($50.0\mu\text{m/d}$) corresponded to the postlarval stage and the maximum ($129.1\mu\text{m/d}$) occurred after the appearance of the first respiratory pore. In Tables II and III data of lengths and similar low temperature conditions of this study are compared with the results of the experiments of this species in California (Leighton, 1974; Leighton *et al.*, 1981). The greater growth registered in this study is evident; it reaches up to a 102% in relation to the data obtained in California (Table II).

The temperature along the study period fluctuated between 14°C and 21°C.

The estimated survival on the 10th day of the introduction of the larvae into the tank was of 0.8%, while after 41 days (when the first pore was forming), approximately 0.5% was estimated. Subsequently, mortality was almost null.

DISCUSSION

The increasing growth of the abalones after the formation of the first respiratory pore (transition from postlarvae to juveniles) was observed in other species such as *Haliotis discus* (Ino, 1952) and *H. sorenseni* (Leighton, 1972). This is probably due to the physiological changes associated to a greater respiratory efficiency (Ino, *op. cit.*), in combination with the possibility of the ingestion of microalgae of greater size depending on the growth of the abalone juveniles.

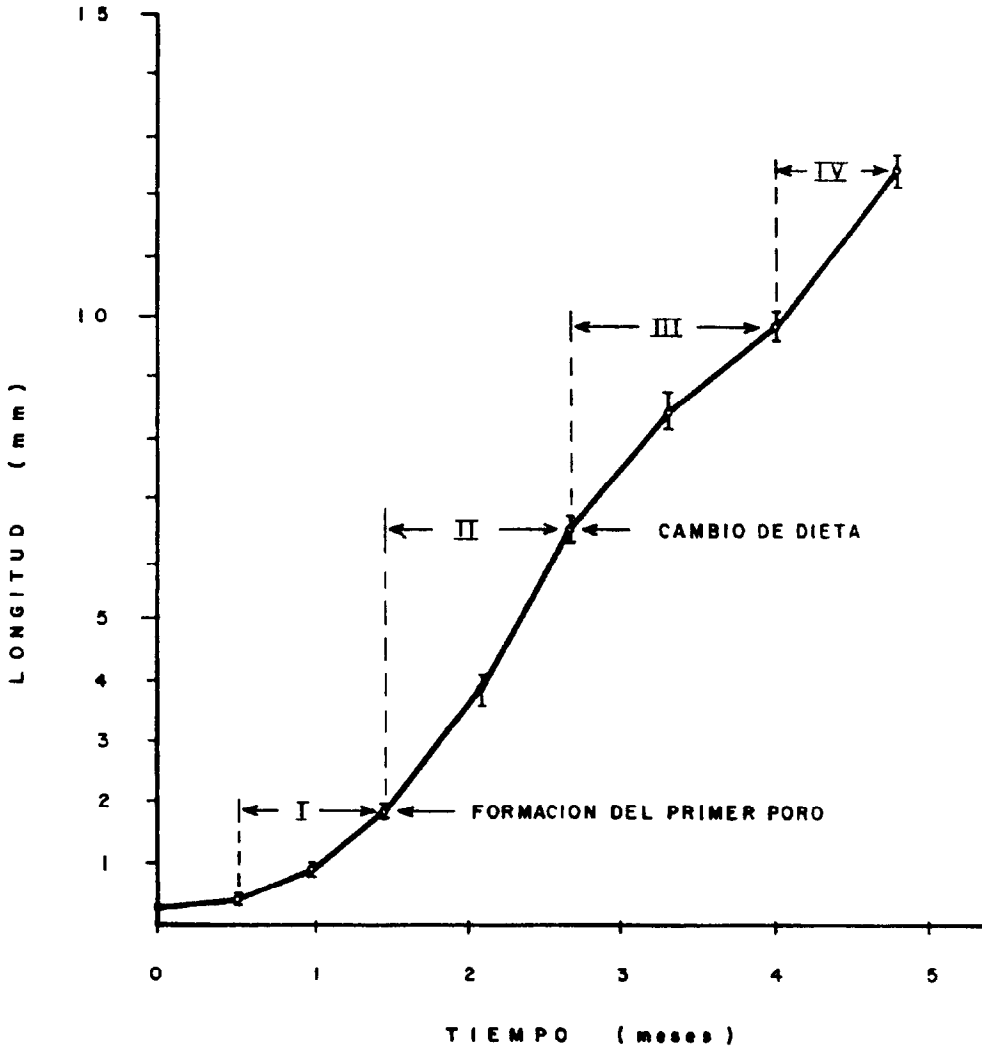


Figura 1. Crecimiento de postlarvas y juveniles de *Haliotis fulgens* en laboratorio. Cada punto es un promedio de longitud de 7 a 15 organismos y las barras verticales indican intervalos de confianza al 95%. Los números romanos señalan períodos de crecimiento diferente.

Figure 1. Postlarval and juvenile growth of *Haliotis fulgens* in laboratory. Each dot is a length average of 7 to 15 organisms, and the vertical bars show 95% confidence ranges. The roman numerals show different periods of growth.

Tabla I. Crecimiento diario promedio en postlarvas y juveniles de *H. fulgens* durante los cuatro períodos señalados en la Figura 1. Los promedios de temperatura se basan en 16 a 27 mediciones durante cada período.

Table I. Postlarval and juvenile mean daily growth of *H. fulgens* during the four periods shown in Figure 1. The mean temperature is based on 16 to 17 measurements during each period.

Período	Número de Día	Longitud Inicial (mm)	Crecimiento Diario ($\mu\text{m}/\text{día}$)	T $^{\circ}\text{C}$ Promedio
I	29	0.40	50.0	19.6
II	41	1.85	129.1	17.2
III	41	6.62	80.9	15.9
IV	24	9.94	106.7	15.3

DISCUSION

El incremento del crecimiento de los abulones después de la formación del primer poro respiratorio (es decir, al pasar de postlarvas a juveniles), ha sido observado en otras especies como *Haliotis discus* (Ino, 1952) y *H. sorenseni* (Leighton, 1972). Posiblemente esta situación obedezca a cambios fisiológicos asociados a una mayor eficiencia respiratoria (Ino, op. cit.), en combinación con la posibilidad de ingerir microalgas de mayor tamaño conforme crecen los juveniles de abulón.

La disminución del crecimiento de juveniles asociado al cambio de dieta de diatomeas a macroalgas, es un fenómeno que se ha documentado tanto para esta especie (Espinoza-Montes *et al.*, 1987) como para *H. rufescens* (Ebert y Houk, 1984). Estos últimos autores realizan el cambio de dieta entre los 5 y 10mm de longitud de los juveniles, utilizando tanques especiales donde añaden tanto diatomeas como *Macrocystis* en exceso, lo cual representa la etapa más ineficiente de su sistema de cultivo. Sin embargo, consideran que es necesario, ya que un cambio brusco de alimentación provoca una detención del crecimiento y un aumento de la mortalidad.

Posiblemente si se hubiera continuado la inoculación de diatomeas aún después de iniciarse el pastoreo sobre *Macrocystis*, no se hubiera detectado la disminución del crecimiento observado durante el primer mes del cambio de dieta. Después de este período el

The decrease in growth of the juveniles associated with the change of diet from diatoms to macroalgae is a phenomenon which has been studied for this species (Espinoza-Montes *et al.*, 1987) as well as for *H. rufescens* (Ebert and Houk, 1984). These latter authors carry out the change of diet of the juveniles at between 5mm and 10mm in length, using special tanks where they add diatoms as well as *Macrocystis* in excess, which represents the most inefficient stage of their cultivation system. However, they consider this necessary because a sudden change of food causes a delay of growth and an increase of mortality.

Probably, if the inoculation of diatoms had continued even after the pasturing of *Macrocystis*, the observed growth increase would not have been detected during the first month of the diet change. After this period, the growth is normal, showing a possible adaptation to the new food. Leighton (1972) does not find this change in the growth of *H. sorenseni* juveniles, which were fed continuously with an excess of diatoms and of diverse kinds of macroalgae.

The difference in growth recorded in this study and in those of California (Tables II and III), must be analyzed carefully. For the 1.0mm postlarvae, our value duplicates that from Leighton *et al.* (1981) even if the temperatures are lower (Table II). In the case of juveniles, our mean datum of $99\mu\text{m}/\text{day}$ at 15.6°C quadruplicates the recorded rate by Leighton (1974) at 15°C , and almost dupli-

Tabla II. Comparación del crecimiento diario promedio de postlarvas y juveniles de *H. fulgens* cultivados en California (Leighton, 1974; Leighton *et al.*, 1981) y Baja California (este estudio).
Table II. Comparison of the postlarval and juvenile mean daily growth of *H. fulgens* cultured in California (Leighton, 1974; Leighton *et al.*, 1981) and Baja California (this study).

Fuente	Número de Organismos	Duración del Período (Meses)	Longitud Inicial Promedio (mm)	T°C	Crecimiento Promedio (µm/día)
Leighton <i>et al.</i> , 1981	15	1.0	1.0	21.0 23.0	40.0 ₁ 73.3 ₁
Este estudio	13 - 15	0.9	1.0	18.7 ₂	80.7
Leighton, 1974	8 - 15	4.0	12.5 ₃	15.0 18.0 27.0	23.7 58.0 88.0
Leighton <i>et al.</i> , 1981	20 10	4.0 3.0	14.0 10.0	16.0 15.2 ₂	58.3 90.3
Este estudio	12 - 15	2.4	5.4	15.6 ₂	99.0

₁ Datos calculados a partir de gráficas incluídas en esa referencia.

₂ Estos valores son promedios, a diferencia del resto que corresponden a temperaturas constantes ($\pm 1^{\circ}\text{C}$).

₃ Valor medio del intervalo proporcionado por el autor (5-20mm).

Tabla III. Comparación de la longitud de juveniles de *H. fulgens* a distintas edades, en cultivos experimentales realizados en California (Leighton, 1974 y 1981) y Baja California (este estudio).
Table III. Comparison of the length of juveniles of *H. fulgens* at different ages, in experimental cultures carried out in California (Leighton, 1974 and 1981) and Baja California (this study).

Fuente	T°C	N	Edad (Meses)	Longitud Promedio (mm)	Desviación Estándar
Leighton, 1974	14-18	70	4.7	7.1	2.00
Este estudio	14-21	15	4.8	12.5 ₁	1.06
Leighton <i>et al.</i> , 1981	18-24	39	3.3	6.1	1.32
Este estudio	15-21	12	3.3	8.5 ₁	1.24

₁ Las diferencias entre estos valores y los correspondientes de Leighton, son significativas ($P < 0.001$) en base a pruebas t.

crecimiento se normaliza, indicando una posible adaptación al nuevo tipo de alimento. Leighton (1972) no encuentra este cambio en el crecimiento de juveniles de *H. sorenseni* que alimentó continuamente con exceso de diatomeas y varios tipos de macroalgas.

Las diferencias en el crecimiento registrado en este estudio y en los de California (Tablas II y III), deben ser analizados con cuidado. Para las postlarvas de 1.0mm, nuestro valor duplica al de Leighton *et al.* (1981) a pesar de tratarse de temperaturas menores (Tabla II). En el caso de juveniles, nuestro dato promedio de 99 μ m/día a 15.6°C cuadruplica la tasa reportada por Leighton (1974) a 15°C y casi duplica la correspondiente a 18°C y a la citada por Leighton *et al.* (1981) a 16°C; sin embargo, en un experimento de esta última referencia encontraron una tasa de 90.3 μ m/día a 15.2°C, que es apenas un 10% menor que la nuestra (Tabla II). Por último, si se comparan las longitudes alcanzadas a determinadas edades, las encontradas aquí son entre un 39% y 76% mayores que las registradas en California (Tabla III). Adicionalmente debe recordarse que nuestros cálculos para juveniles incluyen la fase de crecimiento lento asociado al cambio de dieta, que muy probablemente no está representada en los trabajos de Leighton que partieron de longitudes mayores (Tabla II) y en los que se continuó inoculando diatomeas a lo largo de toda la fase juvenil. De este modo, las diferencias descritas podrían ser aún mayores. Cabe mencionar aquí, que en el laboratorio de Acuicultura de Bahía Tortugas se registran crecimientos de juveniles superiores a las 100 μ m/día, cuando la densidad y alimentación son óptimas (Espinoza-Montes *et al.*, 1987).

Resulta difícil establecer si las diferencias observadas se deben a la variabilidad natural del crecimiento, condiciones experimentales utilizadas, diferencias reales en las poblaciones de reproductores o a combinaciones de estos factores, ya que la información al respecto es escasa.

La baja sobrevivencia de larvas observada durante las primeras semanas es similar a la registrada en el cultivo de haliótidos en otras partes del mundo (0.01 - 1%), y posible-

cates that corresponding to 18°C and the one cited by Leighton *et al.* (1981) at 16°C; however, in one experiment of this last reference, they found a rate of 90.2 μ m/day at 15.2°C, which is almost 10% less than ours (Table II). Finally, if the lengths reached at certain stages are compared, those found here are between 39% and 76% greater than those registered in California (Table III). Additionally, it must be considered that our calculations for the juveniles include the slow growing phase associated with the change of diet, which is probably not represented in the studies by Leighton, that began with longer lengths (Table II), and in which diatoms were continued to be inoculated along all the juvenile phase. Thus, the described differences could be even greater. It must be mentioned herein that in the Aquaculture Laboratory in Bahía Tortugas the growth of juveniles greater than 100 μ m/day were recorded, while the density and alimentation were optimum (Espinoza-Montes *et al.*, 1987).

It is difficult to establish if the differences observed are due to the natural variability of growth, experimental conditions used, real differences in the breeder populations or a combination of all these factors, because this information is scarce.

The poor survival of larvae observed during the first weeks is similar to that registered for haliotis cultures in other parts of the world (0.01-1%). This is probably due to the lack of efficient inductors of the metamorphosis (Hooker and Morse, 1985). The nearly total mortality after one month of the experiment in the 15 lt containers might be due, additionally, to an infestation by protozoa which could not be controlled.

The natural variability of the abalone growth, even if they come from a same spawn, is a well studied phenomenon (Hooker and Morse, 1985; Leighton, 1974) and even the discrepancy between the data of the different experiments of Leighton (Table II) could partially be attributed to this factor. It is therefore probable that the greater growth recorded in this study can be explained following this reasoning.

mente se debió a la falta de inductores eficientes de la metamorfosis (Hooker y Morse, 1985). La mortalidad casi total al mes de experimentación en recipientes de 15 lt se podría deber, adicionalmente, a una infestación por protozoarios que no pudo ser controlada.

La variabilidad natural del crecimiento en abulones, aún proveniente de un mismo desove, es un fenómeno bien documentado (Hooker y Morse, 1985; Leighton, 1974) e incluso la discrepancia entre datos de experimentos distintos de Leighton (Tabla II) podrían atribuirse parcialmente a este factor. Es posible entonces que el mayor crecimiento registrado en este estudio se pudiera explicar siguiendo esta línea de razonamiento.

Las condiciones experimentales fueron distintas en algunos aspectos. Por ejemplo, la mayoría de los experimentos de Leighton se desarrollaron en sistemas cerrados con cambios de agua diarios o semanales; mientras que en este trabajo se proveyó flujo continuo la mayor parte del tiempo. Adicionalmente las densidades de abulones por volumen de agua fueron aparentemente mayores en el caso del autor norteamericano (aunque posiblemente no críticas), y las diatomeas utilizadas como alimento fueron distintas (*Nitzschia* y *Amphora* principalmente).

Por otro lado, el agua de mar en el Sur de Baja California está más contaminada que la de Baja California respecto a metales pesados y pesticidas (Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1983; Martin *et al.*, en prensa), los cuales pueden interferir con la metamorfosis y crecimiento normales de los abulones (Hooker y Morse, 1985).

Como una última hipótesis a considerar, es posible que existan diferencias reales en el crecimiento de *H. fulgens* entre las poblaciones del Sur de California y el Centro de Baja California y que estas diferencias contribuyan a explicar el comportamiento de los datos comparados anteriormente. En la Figura 2, se muestran gráficamente los datos de crecimiento para *H. fulgens* en distintas localidades, obtenidos principalmente del análisis de modas de longitud y aplicando posteriormente el modelo de Von Bertalanffy, a excepción de

The experimental conditions were different in some aspects. For example, most of the experiments by Leighton were developed in closed systems with daily or weekly changes of water; while in this study, a continuous flow was supplied most of the times. Additionally, the densities of abalones by volume of water were apparently greater in the case of the North American author (eventhough probably not critical), and the diatoms used as food were different (mainly, *Nitzschia* and *Amphora*).

On the other hand, the seawater in the south of California is more polluted than the seawater of Baja California with respect to heavy metals and pesticides (Gutiérrez-Galindo *et al.*, (1983; Martin *et al.*, in press), which could interfere with the normal metamorphosis and growth of the abalone (Hooker and Morse, 1985).

As a last hypothesis to be considered, it is possible that real differences exist in the growth of *H. fulgens* among the populations of the south of California and the central part of Baja California, and that these differences contribute to explain the behavior of the data previously compared. In Figure 2, the growth data for *H. fulgens* in different localities are plotted. This data is obtained mainly from mode analysis of length and subsequently applying the Von Bertalanffy model, except for the data of Bahía Tortugas which come from analysis of the rings in the spires of the shells. The information for this last locality is confirmed by another independent study on the growth of rings (Guzmán del Proó and López Salas, 1987); while the estimation for Isla Santa Catalina is corroborated by marking and recapturing studies and by observations in cages and laboratories (Tutschulte, 1976). However, Leighton *et al.* (1981) provide a datum of 3.5mm/month during the first three years for this species in San Diego, California, a growth which would be equivalent in populations of the south. Unfortunately, these authors do not mention the methodology used, and it is not possible to establish if this datum represents only particular conditions which come from the general pattern shown in Figure 2.

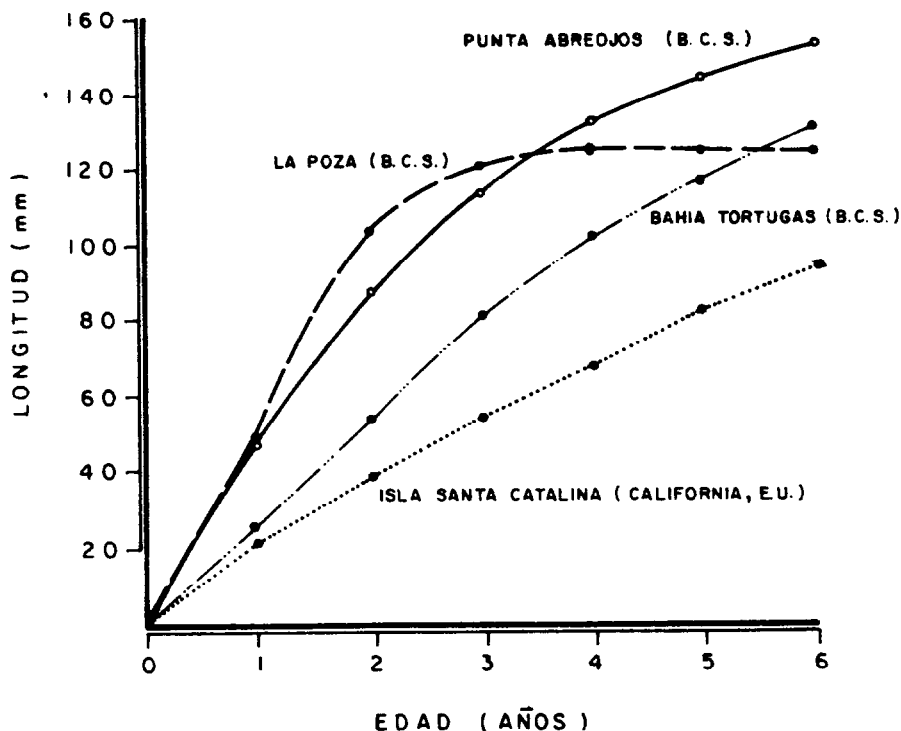


Figura 2. Comparación del crecimiento de *H. fulgens* en Isla Santa Catalina (Tutschulte, 1976), Bahía Tortugas (Turrubiates, en prep.), Punta Abrejos y La Poza (Instituto Nacional de Pesca, 1980).

Figure 2. Comparison of the growth of *H. fulgens* in Isla Santa Catalina (Tutschulte, 1976), Bahía Tortugas (Turrubiates, in prep.), Punta Abrejos and La Poza (Instituto Nacional de Pesca, 1980).

los datos de Bahía Tortugas que provienen de análisis de anillos de crecimiento en las espiras de las conchas. La información para esta última localidad es confirmada por otro estudio independiente sobre anillos de crecimiento (Guzmán del Proó y López Salas, 1987); mientras que la estimación para Isla Santa Catalina, es corroborada por estudios de marcado-recaptura y observaciones en jaulas y laboratorio (Tutschulte, 1976). Sin embargo, Leighton *et al.*, (1981), proporcionan un dato de 3.5mm/mes durante los primeros tres años para esta especie en San Diego, California, que sería equivalente el crecimiento en las poblaciones del Sur. Desafortunadamente estos autores no mencionan la metodología utilizada, y no es posible establecer si este

It can be thought that the greater apparent growth in the populations of the south is due to environmental conditions such as temperature, available food and others; however, at least the first factor could not influence considerably. Tutschulte (1976) mentions a surface temperature range of 13°C to 21°C in the Isla Santa Catalina, based on monthly averages from 1970 to 1974; while the surface daily averages in Bahía Tortugas also fluctuated between 13°C and 21°C from 1979 to 1981, according to data obtained with thermographs by the Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE). Apparently, these years did not present considerable thermic anomalies (Chelton *et al.*, 1982).

dato representa sólo condiciones particulares que se salen del patrón general señalado en la Figura 2.

Se podría pensar que el mayor crecimiento aparente en las poblaciones del Sur se debe a condiciones ambientales como temperatura, alimento disponible y otros, sin embargo, al menos el primer factor podría no influir considerablemente. Tutschulte (1976) menciona un intervalo de temperatura superficiales de 13 a 21°C en la Isla Santa Catalina basado en promedios mensuales de 1970 a 1974; mientras los promedios diarios superficiales, en Bahía Tortugas fluctuaron también entre 13 y 21°C de 1979 a 1981, según datos obtenidos mediante termógrafos por el Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE). Aparentemente estos años no tuvieron anomalías térmicas considerables (Chelton *et al.*, 1982).

En la Figura 3 se señala la distribución de las dos razas de *H. fulgens* descritas para la costa regional por Talmadge (1964), las cuales se pueden diferenciar por características del relieve de la concha.

Resulta interesante, la posibilidad de la influencia de las razas en el crecimiento de *H. fulgens*. Sin duda la raza prevaleciente en Isla Santa Catalina es *H. fulgens fulgens*, y en La Poza, adyacente a Bahía Magdalena, debe prevalecer *H. fulgens turvery*, ya que esta última es la localidad tipo de la raza. En Bahía Tortugas, Talmadge (1964) encuentra 18 de 25 abalones (72%) idénticos a los de Bahía Magdalena, y el resto (28%) con evidencias de mezcla genética con las poblaciones de *H. f. fulgens* del norte. Aunque no se proporciona información sobre Punta Abreojos, resulta lógico pensar en una mayor proporción de *H. f. turveri* que en Bahía Tortugas. De esta forma, la diferencia en las curvas de la Figura 2, se podría explicar con la consideración sobre razas y su mezcla. Aparentemente el crecimiento de *H. f. turveri* por lo menos duplica al de *H. f. fulgens* durante los primeros años, lo cual concuerda con la comparación de postlarvas y juveniles (Tablas II y III).

In Figure 3 the distribution of two races of *H. fulgens* described for the regional coast by Talmadge (1964) is shown, which can be differentiated by the relief characteristics in the shell.

The possibility of the influence of the races in the growth of *H. fulgens* is interesting. Undoubtedly, the prevailing race in Isla Santa Catalina is *H. fulgens fulgens*, and in La Poza, adjacent to Bahía Magdalena, *H. fulgens turvery* should prevail because the latter is the type locality of the race. In Bahía Tortugas, Talmadge (1964) finds 18 out of 25 abalones (72%) identical to those of Bahía Magdalena, and the rest (28%) with evidences of mixed genetics with the populations of *H. f. fulgens* to the north. Even though there is no information about Punta Abreojos, it is logical to think of the existence of a greater proportion of *H. f. turveri* than in Bahía Tortugas. Thus, the difference in the curves of Figure 2 could be explained considering races and their mixture. Apparently, the growth of *H. f. turveri* at least duplicates the growth of *H. f. fulgens* during the first years, which agrees with the comparison of postlarvae and juveniles (Tables II and III).

This last hypothesis, in case of being confirmed by subsequent experiments with samples of both races cultured in similar conditions, could present important repercussions in the aquicultural activity of this mollusc.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was partially financed by the Secretaría de Educación Pública (Project C86010281). We are grateful for the donation of larvae by the Departamento de Acuicultura de la Secretaría de Pesca in Baja California Sur, through Javier Amador Buenrostro and Luis Bazúa S., in charge of the Bahía Tortugas laboratory. We wish to thank the collaboration of Martín Ortiz Quintanilla for the important bibliographic references and Alberto Amador for the temperature data in Bahía Tortugas.

Translated by Guadalupe González Boland.

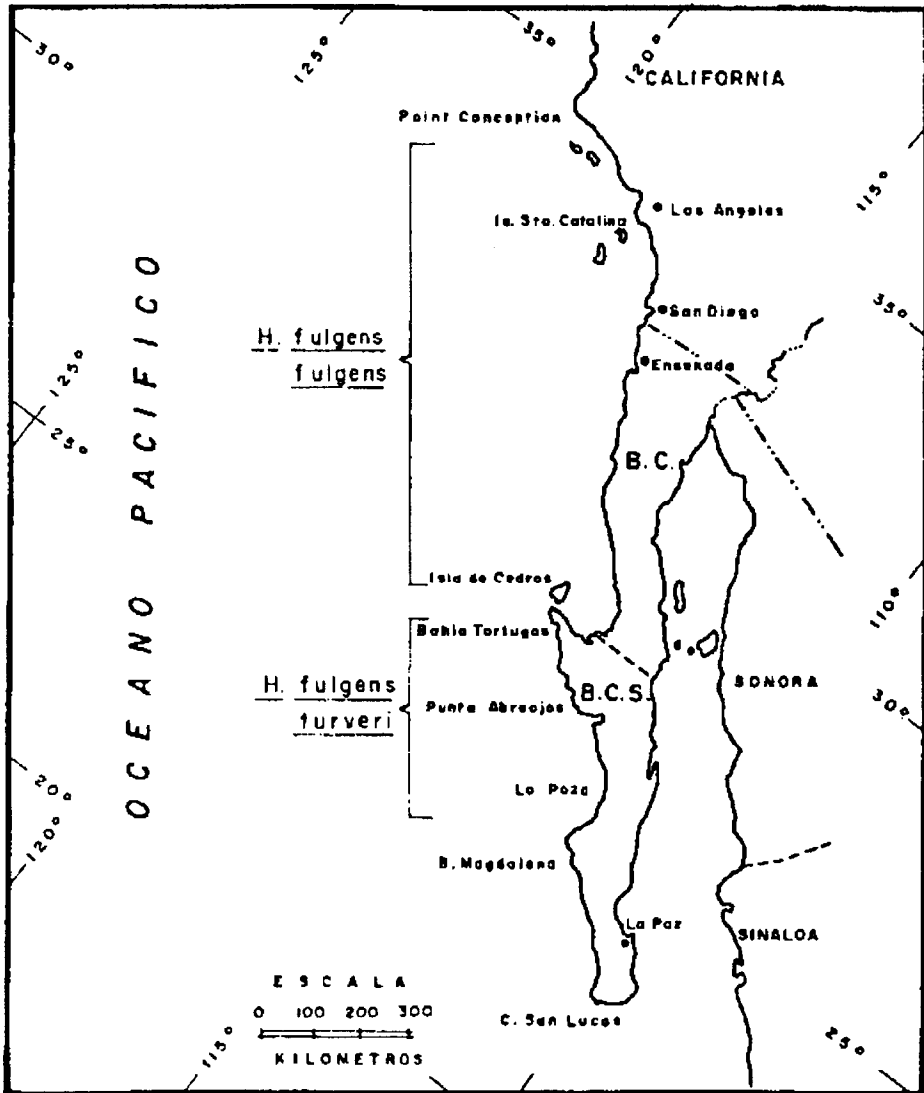


Figura 3. Distribución de razas de *Haliotis fulgens* en la costa occidental americana (según Talmadge, 1964).

Figure 3. Distribution of races of *Haliotis fulgens* in the American western coast (according to Talmadge, 1964).

Esta última hipótesis, en caso de confirmarse mediante experimentos posteriores con ejemplares de ambas razas cultivadas en condiciones similares, podría tener repercusiones importantes en la actividad acuicultural de este molusco.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado parcialmente por la Secretaría de Educación Pública (Convenio C86010281). Se agradece la donación de larvas por el Departamento de Acuicultura de

la Secretaría de Pesca en Baja California Sur, a través de su titular Javier Amador Buenrostro y Luis Bazúa S., responsable del laboratorio de Bahía Tortugas. Por último, deseamos agradecer la colaboración de Martín Ortíz Quintanilla, quien proporcionó referencias bibliográficas importantes y de Alberto Amador Buenrostro, por proporcionar los datos de temperatura de Bahía Tortugas.

LITERATURA CITADA

- Chelton, D.B., Bernal P.A. y McGowan J.A. (1982) Large Interannual Physical and Biological Interaction in the California Current. *J. Mar. Res.* 40: 1095-1125.
- Cox, W. (1962) California Abalones, Family Haliotidae. *Calif. Fish and Game. Fish Bull.* 118, 130 pp.
- Ebert, E.E. y Houk J.L. (1984) Elements and Innovations in the Cultivation of Red Abalone *Haliotis rufescens*. *Aquaculture* 39: 375-392.
- Espinoza-Montes, J.A., Celis-Ceceña R. Castro-Gálvez, R. y Pérez-Serrano, A.S. (1987). Estimación de las velocidades de crecimiento de juveniles de abulón azul (*Haliotis fulgens*, Phillipi 1845) en el laboratorio de acuicultura en Bahía Tortugas. Trabajo presentado en el VII Congreso Nacional de Oceanografía, julio de 1987, Ensenada, B.C., México.
- Gutiérrez-Galindo, E.A., Sañudo-Wilhelmy, S.A. y Flores Báez, B.P. (1983) Variación espacial y temporal de pesticidas organoclorados en el mejillón *Mytilus californianus* (Conrad) de Baja California. *Ciencias Marinas* 9(1): 7-18.
- Guzmán del Proó, S.A. y López-Salas, F. (1987) Crecimiento de *Haliotis fulgens* y *H. comugata* en Bahía Asunción, B.C.S. Trabajo presentado en el Simposium sobre la investigación en Biología y Oceanografía Pesquera en México, abril 1987, La Paz, B.C.S.
- Hooker, N. y Morse, D.E. (1985). Abalone: The Emerging Development of Commercial Cultivation in the United States. p. 365-413 En Huner, J.V. y E.E. Brown (eds.). Crustacean and Mollusk cultivation in the United States. AVI Publishing Co., Westport, CT.
- Ino, T. (1952) Biological Studies on the Propagation of Japanese Abalone (genus *Haliotis*). *Bull. Tokai Reg. Fish Res. Lab.* 5:102 pp.
- Instituto Nacional de Pesca (1980) Análisis de la pesquería de abulón en Baja California y fundamentos biológicos para un nuevo régimen de explotación del recurso. Documento técnico. Secretaría de Pesca, México, D.F.
- Leighton, D.L. (1972) Laboratory Observations on the Early Growth of the Abalone, (*Haliotis sorenseni*, and the Effect of Temperature on Larval Development and Settling Success. *Fish. Bull.* 70(2):373-381.
- Leighton, D.L. (1974) The Influence of Temperature on Larval and Juvenile Growth in Three Species of Southern California Abalones. *Fish. Bull.* 72(4): 1137-1145.
- Leighton, D.L., Byhower, M.J., Kelly, J.C. Hooker, G.N. y Morse, D.E. (1981) Acceleration of Development and Growth in Young Green Abalone (*Haliotis fulgens*) Using Warmed Effluent Seawater. *J. World Maric. Soc.* 12(1): 170-180.
- Martin, M., Stephenson, M., Nishikawa-Kinomura, K. y Gutiérrez-Galindo, E.A. en prensa. Detección de las sustancias tóxicas en la zona costera de las Californias. En Medio Ambiente y Desarrollo en la Frontera México-Estados Unidos: Problemas y Políticas. SEP /Colegio de la Frontera Norte, México, D.F.
- Rocha, E. (1985) Diagnóstico de la pesquería de abulón *Haliotis spp.* en Baja California de los años 1972-73 a 1981-82, por medio de modelos globales de rendimiento. Tesis de licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada, B.C., 191 pp.
- Searcy, R. y Salas Garza, A.E. (1985) Estudios sobre ecología y siembra de abulón en Baja California: Presentación y resultados preliminares. *Trans. X CIBCASIO Meeting:* 105-122.
- Talmadge, R.R. (1964) The Races of *Haliotis fulgens* Phillipi (Mollusca: Gastropoda). *Trans. San Diego Soc. Nat. History* 13(18): 369-376.

Turrubiates, J.R. En preparación. Edad, crecimiento y reproducción de abulón azul, *Haliotis fulgens* Philippi (1845) en Bahía Tortugas, B.C.S. Tesis de Maestría. CICIMAR, La Paz, B.C.S.

Tutschulte, T.C. (1976) The Comparative Ecology of Three Sympatric Abalones. Doctoral dissertation. University of California, San Diego, 335 pp.